**Introducción**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

La metodología de enseñanza tradicional en el área de ingeniería requiere del desarrollo y aprendizaje de conceptos teóricos y experimentales que permitan consolidar los conocimientos en el profesional en desarrollo, a menudo estos profesionales a lo largo de su carrera adquieren estos conceptos teóricos, pero no encuentran el escenario práctico donde puedan experimentar y obtener sus propios resultados.

Dado que la experimentación en un laboratorio de ingeniería es hoy en día una de las más importantes consideraciones que tienen los estudiantes ya que permite a estos observar y explorar aplicaciones teóricas fundamentales del mundo real y desarrollar un concepto más abstracto de las lecciones teóricas aprendidas. Así, “el rol de la experimentación es el concepto clave a mantener en consideración en el mundo de la educación, principalmente en las ciencias y disciplinas de ingenierías, donde estas prácticas de entrenamiento y adquisición de experiencia en la enseñanza tradicional solo pueden ser proveídas a los estudiantes por equipos de laboratorio”. (Jara, 2011a)

Actualmente la carrera de Ingeniería Electrónica de la UNI posee acreditación regional en Centro América y es necesario contar con laboratorios equipados para ejecución de experimentos, sin embargo, las adecuaciones en las infraestructuras tienden a convertirse en un serio problema. “Los laboratorios suelen ser un punto muy complejo por los altos costos, la obsolescencia de los equipos es muy alta, obligando a las instituciones a realizar grandes inversiones con un periodo de aprovechamiento corto”, de acuerdo a un estudio de Castellanos, & Martínez (2010). Además, “que los equipos son vulnerables a daños si se ocupan de manera inadecuada” (Torres, 2006). Otro problema que acarrea el uso de un laboratorio físico es el hecho que se vuelven infrautilizados debido a el horario de uso estricto y tiempo limitado para ejecutar las prácticas que requieren repetirse para el consolidado y validación de conceptos por medio de la experimentación.

Se ha dejado en evidencia con el programa de acreditación que la UNI en la carrera de ingeniería electrónica específicamente, está en búsqueda de mejorar el perfil de sus estudiantes en formación, bajo esta flexibilidad se puede incorporar modelos de aprendizaje de Universidades de países desarrollados que en aras de vincular a sus profesionales en formación con tendencias como la revolución de la Industria 4.0 que es adoptado por los expertos en automatización industrial debido a la necesidad de cambios en la producción de las industrias, impactando en los países más desarrollados, cambiando también a los centros de enseñanzas superiores que tienen grandes retos al vincular las nuevas tendencias tecnológicas con la forma de enseñar a sus alumnos, (Schuster, 2016a) estos centros combinan los beneficios del Internet de las cosas, procesadores de cómputo y procesadores gráficos, (Ortega, 2016) que normalmente son concebidos para animaciones en la industria de video juegos, pero tales recursos pueden dar un giro hacia el aprendizaje (Bodekaer, 2015a). Estas opciones de enseñanza pueden ser aprovechadas por los países que aún están en vías de desarrollo como Nicaragua donde aún se encuentra en un estado incipiente de procesos altamente automatizados con etiqueta de industria 4.0, pero que puede ir dando pasos pequeños hacia la integración de estas modalidades de enseñanza al usar plataformas de aprendizajes virtuales que no incurrirían en grandes gastos y que nos acercaría a la realidad de enseñanza de las universidades del primer mundo, beneficiando a los futuros profesionales con la experimentación y consolidación de conceptos propios de ciertas ingenierías aportando cierta seguridad al enfrentarse con la cuarta revolución industrial.

Hoy en día la robótica educativa se puede considerar como un campo que hace combinación de muchos recursos tecnológicos y áreas del conocimiento de ingeniería, llamando la atención de expertos en la enseñanzas y de estudiantes afines al estudio de ingeniería, (Pinto, 2010) la Universidad Nacional de Ingeniería posee Carreras que están relacionadas a la amplia rama de la robótica como Electrónica, Mecánica, Eléctrica y Computación donde en cada una de estas carreras se desarrollan herramientas para diseño ingenieril tales como conceptos físicos, teoría matemática, lógica de programación, diseño de sistemas y entre otras técnicas que se vinculan al perfil de la robótica pero son ciertas herramientas que en los últimos años de formación del estudiante son puestas en prácticas limitando la capacidad de diseño y combinación de ramas disciplinarias. Como se planteó anteriormente el escenario perfecto donde las áreas de conocimiento se consolidan es a través de ejecutar prácticas de laboratorio. Aunque un escenario físico se podría considerar el más óptimo hoy en día se plantean dudas sobre este y se consideran los entornos de aprendizajes virtuales como una alternativa con muchas ventajas hacia los métodos de enseñanza uno de ellos es la comparación de un laboratorio físico se vuelve cerrado y si se desea actualizar conlleva a mucha inversión en cambio un ambiente virtual posee la flexibilidad de actualizar a los requerimientos del grupo dirigido. (Schuster, 2016b)

Específicamente en UNI la carrera de ingeniería Electrónica posee el curso de Control Aplicado que incorpora una unidad de robótica industrial, en tal clase se discuten ciertos aspectos de teoría de robots industrial, los cuales no son explotados por la falta de herramientas virtuales para ejecutar simulaciones o infraestructura física por los altos costos de los equipos o kits de robótica.

Para dar respuesta a la problemática de falta de recursos de herramientas de software y equipos físicos se propone la elaboración de una plataforma virtual de robótica, para esto se integrara el middleware Open-Source ROS (Robot Operating System) desarrollado por Willow Garage que hoy en día se ha convertido en un estándar de facto dado a su adoptación por centros de enseñanza de robótica más importantes e influyentes del mundo debido al acceso centralizado del software con simuladores, sensores virtuales, visualizadores 3D y cálculos relacionados al diseño de robots que permitirá: acercarnos al desarrollo de una plataforma virtual con código abierto bajo ciertos requerimientos iniciales, la opción de escalabilidad de la propia plataforma virtual al usar ROS, el acercamiento de los estudiantes al utilizar un estándar de robótica que no solo ha sido aceptado por las instituciones académicas si no por grandes empresas con soluciones en el sector de la robótica industrial.

El desarrollo de la plataforma se llevara a cabo utilizando la amplia comunidad de colaboradores de ROS alrededor del mundo que permite la agilización de integración de recursos de software para la solución a desarrollar, gran parte del desarrollo de software que soporta ROS se basa en el uso del lenguaje C++ y Phyton para la programación, los Simuladores que se permiten integrar a la plataforma de software poseen un gran uso en el diseño de los robots incorporando sensores, actuadores y motores de física virtuales para visualizar el comportamiento de un diseño en 3D de un objeto ligado a variables físicas como fricción, gravedad, colisiones, etc. Indispensables para el análisis teórico y práctico bajo un laboratorio virtual de Robótica.

Los alcances del laboratorio virtual de robótica industrial toma como referencia de la Unidad de Robótica de Control Aplicado de Ingeniería Electrónica de la UNI, donde se contempla

* “Componentes y estructura de un robot” en esta práctica el estudiante será capaz de modelar su propio brazo robótico y visualizarlo en la plataforma virtual.
* “Configuración cinemática de un robot” el estudiante podrá analizar la cinemática característica de varios modelos de brazos robóticos, ejecutando la cinemática directa e inversa del propio brazo robótico analizado el cual será también visualizado en la plataforma virtual de tal forma que el estudiante pueda hacer sus cálculos bajo la teoría de robots y confirmar estos mismos.
* Como practica complementaria de la cinemática se analizará el espacio de trabajo de diferentes modelos de brazos robóticos.
* “Accionamiento del sistema mecánico”

“Muñeca y elementos finales (mecánicos, vacío, neumáticos) de los robots”

“Sensores del robot”

“Generalidades del control del robot”, de los temas anteriores el estudiante interactuara con una simulación dinámica haciendo hincapié en el control dinámico del robot.

## **Antecedentes\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

El desarrollo de las tecnologías de la información y recursos computacionales, ha permitido expandir múltiples recursos hacia los estudiantes, dando accesibilidad a prácticas de aprendizaje basada en la Web (Schmidgen et al 2000), LMS Moodle (Álvarez, et al, 2008a), laboratorios online con equipo físico remoto, realidad virtual 3D basada en visión (Hoffmann, et al 2016; Bourke, 2017), escenarios de realidad virtual de inmersión (Cruz-Neira, et al 1992) y los laboratorios virtuales en los cuales es la linea de trabajo a seguir.

Laboratorios Virtuales han concebido muchas variaciones desde el desarrollo de modelos SPICE (Pisani, et al, 2007) para representar las características físicas y eléctricas de un circuito integrado hasta la creación de plataformas virtuales de simulación que permiten el diseño y depuración de un sistema complejo para su posterior implementación fís­­ica, normalmente todos estos laboratorios virtuales se valen de recursos de herramientas de programación orientada a objetos como Delphi, C++, Java, C# y librerías gráficas OpenGL para representar animaciones virtuales en una PC (Ortega, et al, 2016). El objetivo de estos laboratorios virtuales es proveer a una institución de una solución que no requiera más que una PC con recursos de hardware y software para garantizar que el estudiante pruebe una teoría.

Regionalmente en Latinoamérica los laboratorios virtuales han despertado el interés de varias instituciones en diferentes ámbitos desde la ejecución de prácticas de circuitos eléctricos (Juárez, 2008), Diseño de un compilador para programación en Moodle (Merino, 2015), un laboratorio virtual llamado SISMILAB para ingeniería sísmica en Colombia (Guerrero, et al, 2014), Además Cuba propuso un laboratorio para procesos de control e instrumentación. Todas estas propuestas de laboratorios virtuales poseen un propósito compartido de acercar al estudiante a procesos que requieren experimentación.

Según la revisión realizada en la página web de repositorios de tesis Nacionales de Nicaragua documentadas por CNU la Universidad Nacional de Ingeniería posee un trabajo relacionado en laboratorios virtuales desarrollado por Perez et al (2016) el cual consiste en un Laboratorio Virtual de programación de procesos automatizados usando TiaPortal de Siemens y restauración de sistema de control de nivel, presión y temperatura ubicado en el laboratorio de automatización de la FEC este mismo se utiliza para comprobar físicamente las pruebas de laboratorio virtuales permitiendo al estudiante ejecutar practicas virtuales primero y luego verificar prácticas de laboratorio físicas.

Con la evolución de las redes de computadoras se incorporaron los Laboratorios remotos debido a que permite comunicar dos a mas computadoras entre sí para compartir información de periféricos como web-cams, micrófonos, hardware de adquisición de datos, base de datos en servidores etc. En definitiva, todos aquellos recursos que permiten ser enviado a través de una red informática. Existen normalmente dos opciones para el desarrollo de un laboratorio remoto: Uno es implementar un laboratorio físico y enlazarlo a un servidor para que el estudiante tenga acceso remoto garantizándole una plataforma amigable y multiplataforma como pueden ser los navegadores WEB. Candelas, F. et al. (2004) analizan las ventajas del uso de un laboratorio remoto ROBOLAB proyecto desarrollado por ellos mismos bajo el nombre de grupo de investigación AUROVA tal proyecto utiliza herramientas gráficas para modelado y visualización de objetos 3D de un brazo robótico que coincide con el mismo modelo de un robot físico, permitiendo al estudiante realizar sus practica al observar y configurar el modelo virtual y una vez alcanzado un nivel de aprendizaje aceptable proceder a interactuar con el robot físico utilizando la misma plataforma web. Ellos concluyen que al utilizar el laboratorio Remoto ROBOLAB “*La mayoría de alumnos prefieren disponer de un laboratorio en la universidad dónde trabajar con la ayuda de los compañeros y el apoyo didáctico del profesor, pero también hay muchos alumnos que reciben con agrado la opción de un laboratorio virtual que les ofrezca unos horarios flexibles en los que realizar los experimentos”.* (Candelas, et al, 2004b). Otra opción es desarrollar un laboratorio virtual totalmente Web con Simulaciones Remotas totalmente virtuales que proveen servicios para simular robots de la empresa TheConstructSim (Tellez, 2016) esta forma de acercar al estudiante se le denomina Simulaciones de Robots en la Nube, donde su estrategia de inmersión en el campo de la educación es de garantizar todos los recursos via web para enseñar robotica, aunque esta empresa usa librerías nativas de software libre el uso de sus plataformas requiere un costo para el paquete principiante de €15 y €39.97.

Se ha mencionado los tipos de laboratorios y capacidades de recursos de software y hardware que actualmente está a disposición por los últimos avances de las tecnologías, en esta sección abordaremos los simuladores de carácter comercial y software libre con una cercanía Robot-Usuario se encuentran disponibles como V-Rep, RoboDk para programación y simulación de robots enfocados a ambientes educacionales e industrias, RoKiSim y toolboxs de Matlab para robótica como el desarrollado por Corke, (1996) cabe destacar que del trabajo de Corke se han desarrollado varias soluciones con la propuesta por los españoles denominada ARTE (ARTE , n.d.) para Ejecutar simulaciones bajo el ambiente de Matlab, todos estos anteriores son recursos de software de aprendizajes de cinemática directa e inversa de modelos de robot usados en la industria.

También de carácter comercial encontramos los softwares de los fabricantes de robot más reconocidos como ABB, KUKA, FANUC que ofrecen sus interfaces de programación y aprendizaje para manejo de sus equipos en particulares, privando a la institución académicas de proveer al estudiante de prácticas más enfocadas con conceptos de cinemática, dinámica, programación, control e instrumentación que juegan un papel importante en las prácticas de la multidisciplinariedad de la Robótica. (Ortega, et al, 2016c)

Son pocos los trabajos de laboratorios virtuales que hagan consideración de la importancia de modelar un sistema lo más real posible involucrando, gravedad, interacción entre cuerpos, velocidad de movimiento, dinámica de los cuerpos etc. Ortega, et al (2016d) analizan estas situaciones y proponen en su trabajo la integración de motores de física virtual tales como PhysX y el entorno de desarrollo Unity 3D para el desarrollo de una solución enfocada a un laboratorio virtual completo con tres niveles de desarrollo, Nivel de Ambientes 3D usando herramientas de CAD y modelado 3D, Nivel de instrumentación y control con el análisis matemático del modelo del sistema para introducir etapas de control PID en cada eslabón del robot Delta y conseguir una aproximación de respuesta del diseño virtual a un diseño real, además del Nivel de HMI que involucra al estudiante con la práctica permitiendo ajustar parámetros físicos y dinámicos del modelo virtual tales como la masa de cada elemento del robot, características mecánicas y eléctricas de los motores virtuales, parámetros del controlador PID, etc.

Esta misma tendencia de acercar a un estudiante a un laboratorio virtual más cercano a la realidad ha originado muchos software comerciales y de carácter open-source, laboratorios virtuales propietarios de instituciones académicas y la última tendencia es la introducción de herramientas como frameworks y middlewares que permitan desarrollar soluciones más centralizadas con capacidades de integración de muchos recursos de software antes mencionados como lenguajes de programación Orientada a objetos (C++ Phyton, Java, etc.), motores de física virtuales, comunicación de Redes de computadoras, servidores WEB, usos de recursos de hardware externos como gafas virtuales 3D, sensores de posición y orientación, Librerías para reconocimiento de imágenes, etc. Los frameworks y middlewares más utilizados son CARMEN, ORCA, OROCOS, Player/Stage, ROS, Gazebo entre otros los cuales son analizados por Staranowicz (2011) y concluyen que los frameworks con más capacidades son Player/Stage, Gazebo y ROS destacando aún más el middleware ROS por su amplia comunidad, documentación e incorporación a la industria bajo el consorcio ROS Industrial siendo aceptado por empresas como ABB - Robotics, Siemens, IT–Robotics, Yaskawa entre otras empresas líderes en la automatización, esto permitiría a la Universidad Nacional de Ingeniería trabajar en integrar por medio de actualizaciones del trabajo propuesto de un laboratorio virtual con objetividad hacia las tendencias de automatización de la industria.

Las funcionalidades del middleware Robot Operating System descritas en ROS (n,d) permiten la comunicación de varios nodos con diferentes aplicaciones tales como descripción de geometría 3D, Diagnostico en la aplicación del Robot, herramientas para visualización 3D como RVIZ y la integración de Frameworks como Gazebo para simulación, herramientas de reconocimiento de imágenes como OpenCV, Point Cloud Library para trabajar con entornos digitales en 3D usando sensores como Microsoft Kinect láser que permiten la orientación de los robots. Todas estas funcionalidades descritas son aprovechadas por Laboratorios Virtuales remotos tales como el Laboratorio Remoto usando el robot PR2 propuesto por Pitzer et al (2012) permitiendo a un usuario sobre una página WEB con GUI’s y modelos virtuales mostrar el comportamiento de un modelo físico. Otro trabajo bajo el entorno ROS es el desarrollado por Casañ, et al (2015) que proponen el uso de las funcionalidades de ROS pero agregando un plusvalía de carácter open-source de la plataforma Moodle para centralizar el acceso de los estudiantes del laboratorio remoto, todo esto bajo un mismo servidor donde se ejecutan los nodos de ROS y las base de datos de Moodle que son accedidos des de una página WEB.

Las directrices del trabajo a desarrollar va enfocado a la utilización del ROS como middleware que nos permitirá centralizar la programación de una interfaz o entorno virtual con diseños 3D de robots en movimiento que se describirán por los Scripts de control de cada práctica, todos estos módulos son soportados por ROS, el desarrollo de este entorno permitirá al estudiante aprender un poco de la teoría relacionada, ejecutar prácticas y la debida configuración bajo GUI’s propias del entorno virtual, todo esto bajo los requerimientos que se describirán en este proyecto, cabe mencionar que este trabajo puede ser retomado y actualizado por futuros monografiantes o proyectistas por las funcionalidades que no serán explotadas del middleware ROS.